

FYS-6100 PUOLIJOHDETEKNIIKAN PERUSTEET

Laajuus: 5 op
Luentoja: 36 h
Laskuharjoituksia: 11 x 2 h

Luennoija: Tapio Rantala, prof., SG219
 Tapio.Rantala@tut.fi
<http://www.tut.fi/~trantala/opetus>

Laskuharjoitukset: Miki Tavast, SL312
 Miki.Tavast@tut.fi

Aika ja paikka: ti 13 – 15 SG312 Luento (I ja II)
 ke 12 – 14 SG312 Luento (I ja II)
 pe 12 – 14 SG312 Harj. (I ja II)

Kurssikirja: Ben G. Streetman ja S. Banerjee,
Solid state electronic devices
 (luvut 1 – 5, 8)

Perustiedot: Fysiikan peruskurssit, KOF A

Kokeet: vko 51, (ke) 21.12.2011
 vko 8, (ma) 20.2.2012
 vko 14, (ma) 2.4.2012
 Välikokeet: ?

AIKATAULU sl. 2010

	VIKKO	Luento	Harjoitus	Huom!
I Elokuu	35	ti 1 – 2		
		ke 3 – 4	pe	
	36	ti 5 – 6		
		ke 7 – 8	pe 1	
I Syyskuu	37	ti 9 – 10		
		ke	pe 2	
	38	ti –		
		ke 11 – 12	pe 3	
I	39	ti 13 – 14		
		ke	pe 4	
	40	ti		
		ke 15 – 16	pe 5	
I Lokakuu	41	ti 17 – 18		
		ke	pe	
	42			Tentti- viikko
	43	ti 19 – 20		
		ke 21 – 22	pe 6	
I	44	ti –		
		ke 23 – 24	pe 7	
	45	ti 25 – 26		
		ke 27 – 28	pe 8	
I Marraskuu	46	ti 29 – 30		
		ke 31 – 32	pe 9	
	47	ti 33 – 34		
		ke 35 – 36	pe 10	
I	48	ti –		
		ke	pe 11	
	49	ti		
		ke		
I Joulukuu	50			Tentti- viikko
	51	Tentti 21.12.	ke	

SISÄLTÖ

1. Puolijohdekiteiden kasvatus	1
1.1. PUOLIJOHDEMATERIAALIT	2
1.2. KIDEHILAT	3
1.2.1. Jaksolliset rakenteet	3
1.2.2. Kuutiolliset hilat	4
1.2.3. Kidetasot ja -suunnat	5
1.2.4. Timanttihila	6
1.3. KITEEN KASVATUS	7
1.3.1. Materiaalit	7
1.3.2. Erilliskidatangon kasvatus	7
1.3.3. Kiekot	8
1.3.4. Seostus	8
1.4. EPITAKSIAALINEN KASVATUS	9
1.4.1. Hilasovitus	9
1.4.2. Kaasufaasiepitaksia	11
1.4.3. Molekyylisuihku-epitaksia	11
2. Atomit ja elektronit	13
2.1. JOHDANTO	13
2.2. KOKEELLISIA HAVAINTOJA	14
2.2.1. Valosähköinen ilmiö	14
2.2.2. Atomien viivaspektrit	15
2.3. BOHRIN ATOMIMALLI	15
2.4. KVANTTIMEKANIikka	17
2.4.1. Todennäköisyys ja epätarkkuusperiaate	17
2.4.2. Schrödingerin aaltoyhtälö	18
2.4.3. Potentiaalikaivo	20
2.4.4. Tunneloituminen	21
2.5. ATOMIN RAKENNE	22
2.5.1. Vetyatomi	22
2.5.2. Alkuaineiden jaksollinen järjestelmä	23
3. Elektronien kaistarakenne ja puolijohteen varauksenkuljettajat	25
3.1. KOHEESIO JA ENERGIAKAISTAT	25
3.1.1. Kiinteiden aineiden koheesio	25
3.1.2. Elektronien energiakaistat	27
3.1.3. Metallit, puolijohdeet ja eristeet	28
3.1.4. Suora- ja epäsuorarakoiset puolijohdeet	29
3.1.5. Seossuhteen vaikutus kaistarakenteeseen	31
3.2. PUOLIJOHTEEN VARAUSENKULJETTAJAT	32
3.2.1. Elektronit ja aukot	32
3.2.2. Effektiivinen massa	33
3.2.3. Itseispuolijohdeet	36
3.2.4. Seostepuolijohdeet	37
3.2.5. Kvanttikaivorakenne	39
3.3. VARAUSENKULJETTAJIEN JAKAUTUMAFUNKTIOITA	40
3.3.1. Fermi-taso	40
3.3.2. Elektronien ja aukkojen tasapainojakautumat	41
3.3.3. Varauksenkuljettajakonsentraatioiden lämpötilariippuvuus	44
3.3.4. Kompensaatio ja varaustasapaino	46
3.4. VARAUSENKULJETTAJIEN LIIKE SÄHKÖ- JA MAGNEETTIKENTISSÄ	46
3.4.1. Johtavuus ja liikkuvuus	47
3.4.2. Resistanssi	49
3.4.3. Lämpötilan ja seostuksen vaikutus liikkuvuuteen	50
3.4.4. Voimakkaan kentän vaikutus	51
3.4.5. Hall-ilmiö	51
3.5. Tasapainotilan Fermi-taso	53
4. Varauksenkuljettajien epätasapainoilmiöitä	54
4.1. OPTINEN ABSORPTIO	54
4.2. LUMINESENSSI	55
4.2.1. Fotoluminesenssi	55
4.2.2. Elektroluminesenssi	56
4.3. VARAUSENKULJETTAJIEN ELINAIKA JA FOTOJOHTAVUUS	57
4.3.1. Suora rekombinaatio	57
4.3.2. Epäsuora rekombinaatio ja luokkuuntuminen	59
4.3.3. "Steady state" häiriö ja kvasi-Fermi-taso	61
4.3.4. Fotojohtavuuteen perustuvat laitteet	63

4.4. VARAUKSENKULJETTAJIEN DIFFUUSIO	64
4.4.1. Diffuusio	64
4.4.2. Varauksenkuljettajien diffuusio ja drift sekä sisäiset kentät	65
4.4.3. Diffuusio, rekombinaatio ja jatkuvuusyhtälö	68
4.4.4. "Steady state"-injektio ja diffuusioipituus	69
4.4.5. Haynes–Shockley-koee	70
4.4.6. Kvasi–Fermi-tason gradientti	72
5. Liitokset	73
5.1. p–n LIITOKSEN VALMISTUS	73
5.1.1. Terminen oksidointi	73
5.1.2. Diffuusio	74
5.1.3. Nopea lämpökäsittely (RTP)	74
5.1.4. Ioni-istutus	75
5.1.5. Höyryfaasikasvatus CVD	77
5.1.6. Fotolitografia	79
5.1.7. Syövytysmenetelmät (etching)	80
5.1.8. Metallointi	83
5.2. JÄNNITTEETÖN p–n-LIITOS	84
5.2.1. Liitospotentiaali	84
5.2.2. Tasapainotilan Fermi-tasot	87
5.2.3. Liitoksen tyhjennysalue	87
5.3. JÄNNITTEELLINEN pn-LIITOS TASAPAINOTILANTEESSA	90
5.3.1. Kvalitatiivinen tarkastelu	90
5.3.2. Vähemmistövarauksenkuljettajien injektio; myötäsuuntainen jännite	92
5.3.3. Estosuuntainen jännite	96
5.4. ESTOSUUNTAINEN LÄPILYÖNTI	97
5.4.1. Zener-läpilyönti	97
5.4.2. Avalanche-läpilyönti	98
5.5. VAIHTOJÄNNITEVASTE	99
5.6. TÄSMENNYKSIÄ YKSINKERTAISIIN MALLEIHIN	99
5.7. METALLI–PUOLIJOHDELIITOKSET	100
5.7.1. Schottky-liitos	100
5.7.2. Tasasuuntaavat liitokset	102
5.7.3. Ohmiset liitokset	103
5.8. HETEROLIITOKSET	104

6. Kanavatransistorit	107
7. Bipolaaritransistorit	110
8. Optoelektroniikka	113
8.1. FOTODIODIT	113
8.1. Fotodiodin virta–jännite-ominaiskäyrä	113
8.1.2. Aurinkokennot	116
8.1.3. Fotodetektorit	117
8.1.4. Fotodetektorien kohina ja kaistanleveys	118
8.2. VALOAEMITTOIVAT DIODIT	119
8.2.1. Valoaemittävät materiaalit	119
8.2.2. Kuituoptinen tietoliikenne	121
8.2.3. Monikerroksiset heteroliitos-LEDit	122
8.3. LASERIT	123
8.4. PUOLIJOHDELASERIT	125
8.4.1. Populaatioinversio	125
8.4.2. Pn-liitoksen emissiospektri	126
8.4.3. Laseriodin valmistaminen	128
8.4.4. Heteroliitoslaserit	129
8.4.5. Lasereissa käytetyt materiaalit	133
MOODILUKITUS	134
KYLLÄSTYVÄ ABSORBAATTORI	137

"TENTISTÄ / (VÄLIKOEKEESTA)"

Valmistautuminen

- käsitteet, määritelmät
- ilmiöiden ymmärtäminen: yhteydet toisiinsa ja kokonaisuudet
- laskurutiini

Tentti

- 5 / (4) tehtävää, 3 / (2) h
- tehtävät vaihtelevia:
ainakin
 - 1 helppo — 1 "vaikea"
 - 1 ns. teorialteht. — 2 laskuteht.
 - 1 – 2 teht. laskuharjoituksista
- käsitteet on tunnettava

Tehtäviin vastaaminen

- aloita helpoimmasta
- kirjoita riittävästi: selitä, perustele, erottele lähtökohdat ja oletukset
- selitä kaikki symbolit, joita käytät
- vektorisuureet vektoreina